

Comparaison d'huile moteur ACEA E3 et ACEA E4 sur des bus: hypothèses de travail et interprétation des résultats

Novak, M.H.¹, Engalytcheff A², Etienne J.-P³, Debouche C.¹



*Etude coordonnée par la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux pour le compte de ValBiom,
avec le soutien du Ministère de la Région wallonne – Direction générale de l'Agriculture*

1 Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux
2 Ingénieur d'application ANAC & Diagofluid, TOTAL Belgique
3 Société Régionale Wallonne du Transport

Introduction

Deux approches visent à l'incorporation d'huiles végétales dans les huiles moteur: la première approche, développée en France, consiste à utiliser de l'huile de tournesol à haute teneur en acide oléique à laquelle une quantité importante d'anti-oxydants puissants est ajoutée. La seconde approche consiste à utiliser des esters d'origine végétale dans la formulation des lubrifiants synthétiques pétrochimiques. Une des huiles testées dans la présente expérimentation contient un ester végétal à hauteur d'environ 15%.

Une des caractéristiques des esters est liée à leur polarité : leur pouvoir anti-friction et leur pouvoir dispersant sont supérieurs à ceux des huiles minérales classiques. Des frictions réduites au niveau du moteur permettent en théorie de réduire la consommation de carburant (de l'ordre de 2 à 6 % selon certaines sources) et l'usure du moteur. La réduction des métaux d'usure dans l'huile maintient également sa stabilité.

Une expérimentation menée d'octobre 2001 à février 2003, sur huit bus, a permis de vérifier ces affirmations dans la pratique. Elle est le fruit d'une collaboration entre la SRWT⁴, la FUSAGx⁵, ValBiom⁶ et le groupe pétrolier TOTAL⁷.

Dispositif expérimental

Les lubrifiants moteurs utilisés sont (tableau **Erreur ! Liaison incorrecte.**):

- **ELF Performance TROPHY DX 15W40**, une *huile minérale semi synthétique* de type SHPD (Super High Performance Diesel Oil), qui répond aux spécifications **ACEA E3**. La vidange a systématiquement été réalisée tous les 20.000 km.
- **FINA KAPPA FIRST 5W30**, une *huile full synthétique* de type UHPD (Ultra High Performance Diesel Oil) partiellement d'origine végétale (15 à 20 % d'esters). Étant donné que cette huile répond aux spécifications **ACEA E4**, l'intervalle de vidange peut être allongé jusqu'à 60.000 km.

Quatre bus (numéros 138 à 141) ont fonctionné avec la KAPPA et quatre autres (numéros 142 à 145) avec la TROPHY. Il s'agit de bus de marque BERKHOF DAF S2000T équipés d'un moteur DAF GS160 de 212 chevaux, de type **EURO 2** âgés de 1 à 2 ans, toujours sous garantie moteur.

⁴ Société Régionale Wallonne du Transport

⁵ Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux

⁶ Valorisation de la Biomasse asbl

⁷ Précédemment TotalFinaElf

Tableau 1 : Caractéristiques et spécifications des huiles moteur testées.

Caractéristiques	TROPHY	KAPPA
Classification SAE	15W40	5W30
Densité, kg/l	0.886	0.876
Viscosité mm ² /s 40°C		68.8
Viscosité mm ² /s 100°C	14.5	12.1
Indice de viscosité	140	173
Point d'écoulement, °C	-30	-33
Point d'éclair °C	220	230
Cendres sulfates % poids	1.6	2.0
Réserve alcaline (TBN) mg KOH/g	12	14.5
Spécifications		
ACEA	E3-96	E4-98
API	CH4	CG-4
CCMC	D5	D5+
MAN	M 3275	M3277
Volvo	VDS 2	VDS 2
Mercedes Benz	Page 228.3	Page 228.5
SCANIA	oui	oui
IVECO	E3	SHPD+
DAF	oui	long drain
autres	RVI RD MACK EO-M MTU OL Type 2 LIAZ 258-3 ©	Renault E3-R

Une vidange de « rinçage » a été effectuée sur tous les bus après les 20.000 premiers kilomètres. Elle a été suivie par le maintien du bain d'huile KAPPA pendant 60.000 km, tandis que celui de la TROPHY a été vidangé tous les 20 000 km. Une vidange nécessite environ 40 litres d'huile.

Des prélèvements d'échantillons d'huiles ont été réalisés tous les 10 000 km, soit lors de la vidange, soit dans le bain d'huile en service.

[ENCADRE « ANALYSES » voir page 13]

Hypothèses

Les hypothèses à vérifier dans l'essai et paramètres de vérification sont repris dans le tableau
Erreur ! Liaison incorrecte..

Tableau 2 : Hypothèses à vérifier et paramètres de vérification

Hypothèses	Paramètres de vérification
1. L'huile Kappa permet un allongement de l'intervalle de vidange par rapport à l'huile Trophy	<ul style="list-style-type: none"> faible variation de la viscosité moins de suies augmentation du taux d'usure inférieur à 10 %
2. L'huile Kappa permet de réduire la consommation de carburant	<ul style="list-style-type: none"> quantité de carburant moins de métaux d'usure taux d'usure moindre viscosité reste toujours inférieure à l'huile TROPHY
3. La diminution de l'intervalle de vidange engendre une diminution des coûts globaux permettant de compenser le prix d'achat plus élevé de l'huile Kappa par rapport à l'huile Trophy	<ul style="list-style-type: none"> prix d'achat de l'huile quantités d'huile à acheter y compris les appoints temps d'immobilisation du bus coût de personnel pour vidanges coût d'élimination des huiles usagées (quantité d'huile à éliminer) coût de stockage de l'huile et de l'huile usagée coût des analyses carburant

Interprétation des résultats

Représentativité

- La comparaison des kilomètres au compteur des bus montre que les bus « KAPPA » avaient davantage roulé avant de commencer l'essai que les bus « TROPHY » puisque leur compteur indique en moyenne **187.843 km** au début de l'essai, contre **136.156 km** pour les bus « TROPHY » (tableau 3).
- La durée mise pour faire les 50.000 premiers km de la durée de l'essai après la première vidange a été en moyenne plus faible pour les bus équipés en KAPPA (**270 jours** contre **347 jours** pour les bus équipés en TROPHY).
- Période de l'essai : certains bus ont commencé l'essai en juillet et d'autres en décembre.

Tableau 3: comparaison des conditions de déroulement de l'expérimentation pour chaque bus.

bus	Type d'huile	Km compteur au début de l'essai	Jours entre le début de l'essai et 50.000 km	Date de début d'essai
138	KAPPA	193336	252	24/12/01
139	KAPPA	194648	276	20/12/01
140	KAPPA	191648	274	18/09/01
141	KAPPA	171740	276	27/11/01
MOY	KAPPA	187843	270	
142	TROPHY	170950	277	06/12/01
143	TROPHY	128711	370	09/08/01
144	TROPHY	151101	315	09/08/01
145	TROPHY	93860	425	05/07/01
MOY	TROPHY	136156	347	

Finalement, trois facteurs induisent une variabilité sensible entre les deux séries de bus : l'âge des bus, le type de service et la date du début de l'essai. Tous agissent plutôt en défaveur des bus équipés en KAPPA.

Vérification des hypothèses

Hypothèse 1 : L'huile KAPPA permet un allongement de l'intervalle de vidange par rapport à l'huile TROPHY

La **viscosité** des huiles est restée très stable. Elle a été très similaire pour les deux huiles, en affichant une valeur moyenne relativement basse de 12.3 mm²/s (tableau 4). Ce paramètre traduit dès lors l'absence d'épaississement d'huile, mais il est étonnant de constater que cette valeur est similaire pour des huiles de grades *a priori* différents.

Tableau 4 : valeurs observées de viscosité cinématique à 100°C sur l'ensemble des bus.

	MOY	MIN	MAX
KAPPA 5W30	12,26	11.6	13.0
TROPHY 15W40	12,31	11.4	12.7

La **teneur en suies** est un des paramètres qui permettent de détecter le moment où la vidange est nécessaire. La référence pour ce type de moteur est de 0.5 % de Carbone (= 30 A.S.) dans l'huile. A partir de 1.3 % de C (= 80 A.S.), le bulletin d'analyse « passe à l'orange » et au rouge au-delà de 100 A.S.

Dans l'expérimentation menée, il est évident que la teneur en suies est plus élevée dans l'huile KAPPA (figures **Erreur ! Liaison incorrecte.** et **Erreur ! Liaison incorrecte.**). L'huile TROPHY a vu sa teneur en suies évoluer vers une teneur de 0.2 à 0.7 %C (=10 à 40 A.S.) après 20.000 km, moment où la vidange a été systématiquement réalisée.

Si on compare les teneurs en suies des deux types d'huile lors des mesures faites aux différents stades observés de 20.000 km, on constate (tableau **Erreur ! Liaison incorrecte.**) que, l'huile KAPPA montre une teneur moyenne en suie de 0.7 %C (39 A.S.), tandis que l'huile TROPHY est en moyenne de 0.4 %C (24 A.S.).

Donc, l'huile KAPPA n'est acceptable pour ce paramètre jusqu'à 60.000 km que dans deux bus sur quatre.

Tableau 5 : Teneur en suies à 20.000 km (pour toutes les mesures effectuées)

bus	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Mesure 4	Moyenne par bus	MOY
n138	51	37			44	
n139	52	39	60		50	
n140	28	28	37		31	
n141	43	17			30	39
n142	21	18	21	18	20	
n143	29	25	42	31	32	
n144	37	27	24	21	27	
n145	9	21	16	29	19	24

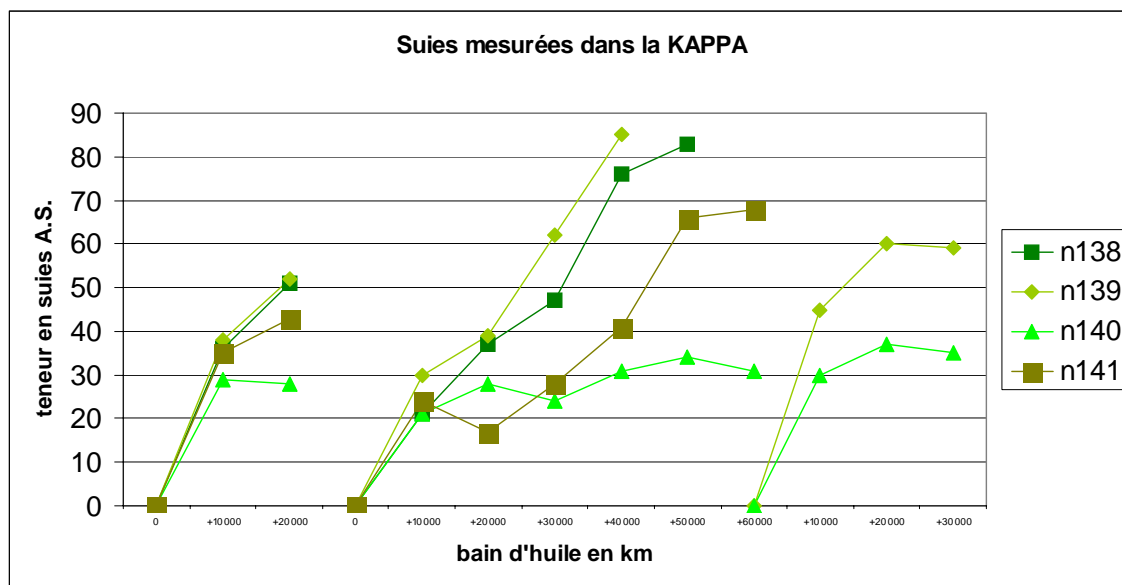


Figure 1 : Teneurs en suies dans l'huile Kappa

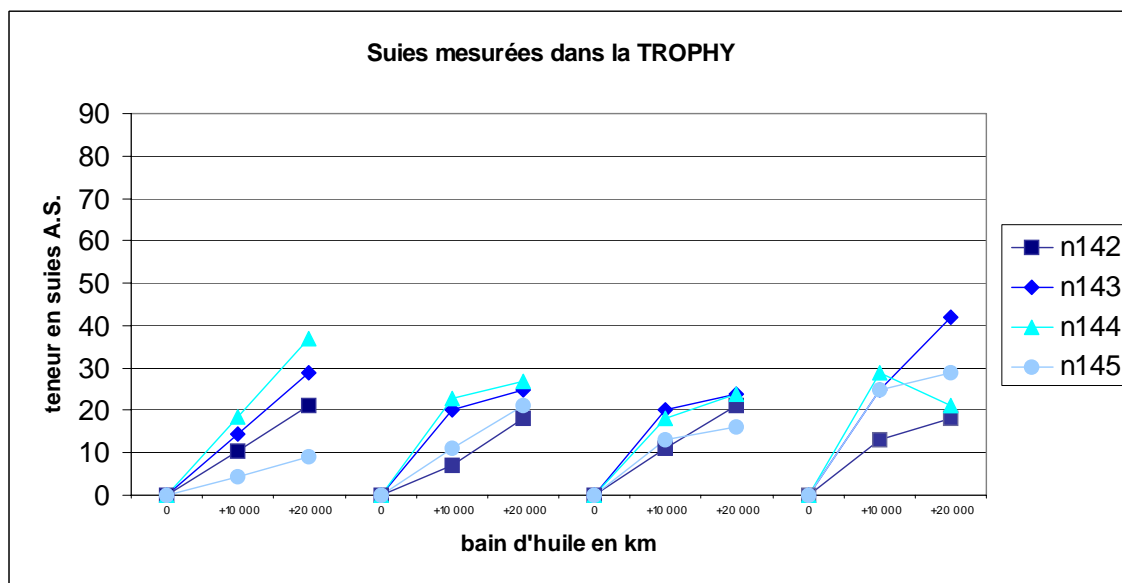


Figure 2 : Teneurs en suies de l'huile Trophy

La comparaison des **taux d'usure** calculés pour les deux types d'huiles (figures **Erreur ! Liaison incorrecte.** et **Erreur ! Liaison incorrecte.**) montre sans discussion possible la meilleure performance de l'huile TROPHY, qui ne dépasse jamais le seuil de 1 (**tableau Erreur ! Liaison incorrecte.**), avec une moyenne de **0.83**. L'huile KAPPA se situe presque toujours au-dessus de 1 (**tableau Erreur ! Liaison incorrecte.**), avec une valeur moyenne de **1.10** (ce qui correspond à la limite maximale fixée dans nos hypothèses de travail). Le même différentiel s'observe si on compare les deux types d'huile dans le bain de 20.000 km (**0.87** contre **1.11**).

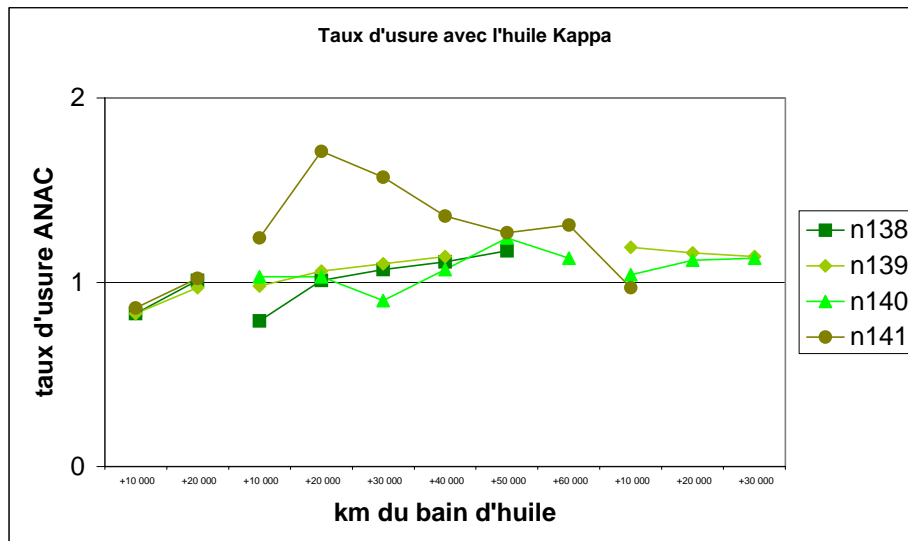


Figure 3 : Taux d'usure dans l'huile Kappa

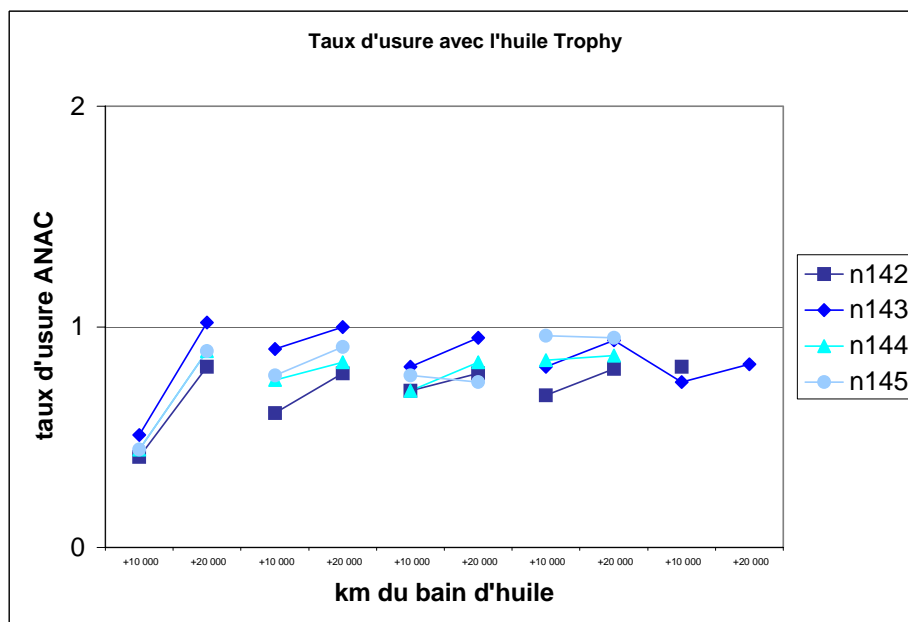


Figure 4 : Taux d'usure dans l'huile Trophy

Tableau 6 : Taux d'usure dans la KAPPA

km	+10 000	+20 000	+10 000	+20 000	+30 000	+40 000	+50 000	+60 000	+10 000	+20 000	+30 000
n138	0,83	1,01	0,79	1,01	1,07	1,11	1,17				
n139	0,83	0,97	0,98	1,06		1,14					
n140			1,03	1,03	0,9	1,07	1,24	1,13	1,04	1,12	1,13
n141	0,86	1,02	1,24	1,71	1,57	1,36	1,27	1,31	0,97		
moy	0,84	1,00	1,01	1,20	1,16	1,17	1,23	1,22	1,01	1,12	1,13
Moy -141	0,83	0,99	0,93	1,03	1,02	1,11	1,21	1,13	1,04	1,12	1,13

Tableau 7 : Taux d'usure dans la TROPHY

km	+20 000	+10 000	+20 000	+10 000	+20 000	+10 000	+20 000	+10 000	+20 000
n142	0,82	0,61	0,79	0,71	0,79	0,69	0,81	0,82	
n143	1,02	0,9	1	0,82	0,95	0,82	0,94	0,75	0,83
n144	0,89	0,76	0,84	0,71	0,84	0,85	0,87		
n145	0,89	0,78	0,91	0,78	0,75	0,96	0,95		
moy	0,91	0,76	0,89	0,76	0,83	0,83	0,89	0,79	0,83

Le taux d'usure anormalement élevé du **bus 141** s'explique cependant par un problème mécanique du moteur. En effet, une pompe desserrée battait contre un carter en aluminium, ce qui s'est vu dans la mesure des teneurs en cet élément (figure **Erreur ! Liaison incorrecte.**). Une intervention a eu lieu, ce qui a fait chuter la concentration en aluminium. En retirant dès lors les données de ce bus, la moyenne du taux d'usure pour l'huile KAPPA à 20 000 km devient **1.05**, ce qui est très légèrement supérieur à une usure « normale », mais reste acceptable dans les limites fixées de 10 %.

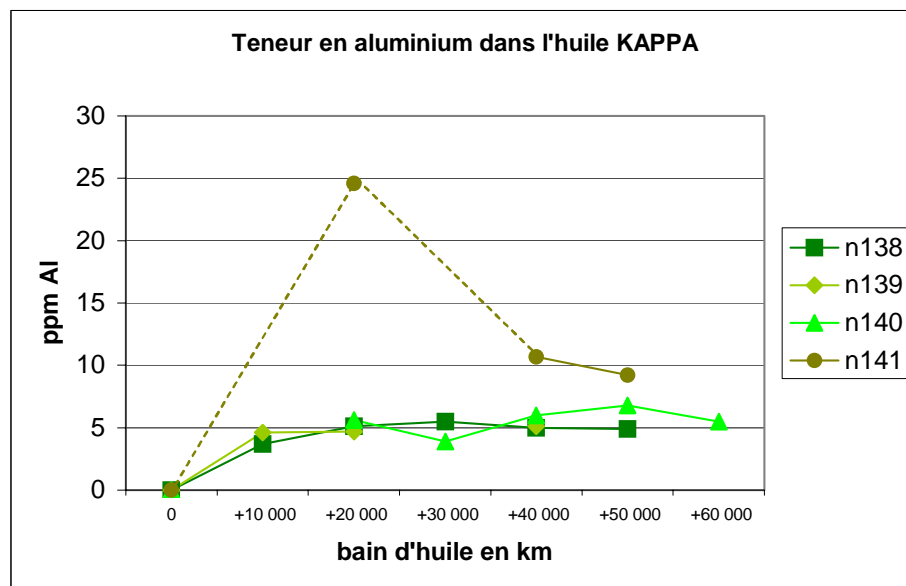


Figure 5: Teneur en aluminium du bain d'huile du bus 141 (valeur non compensée).

Hypothèse 2 : L'huile végétale permet de réduire la consommation de carburant

La consommation moyenne sur 9 mois des bus fonctionnant à l'huile KAPPA est de 33.2 litres/100 km, tandis de celle des bus tournant à l'huile TROPHY est de 33.7 litres/100 km. Il n'y a pas de différence significative de consommation entre les deux types d'huile. L'hypothèse n'est donc pas vérifiée selon ce paramètre.

L'analyse statistique met par ailleurs en évidence une différence hautement significative de consommation en fonction de l'époque de l'année. Logiquement, on observe une baisse des consommations de carburant en été, puisqu'il n'y a pas de chauffage (figure **Erreur ! Liaison incorrecte.**). Cette différence n'étant pas significativement différente selon le type d'huile.

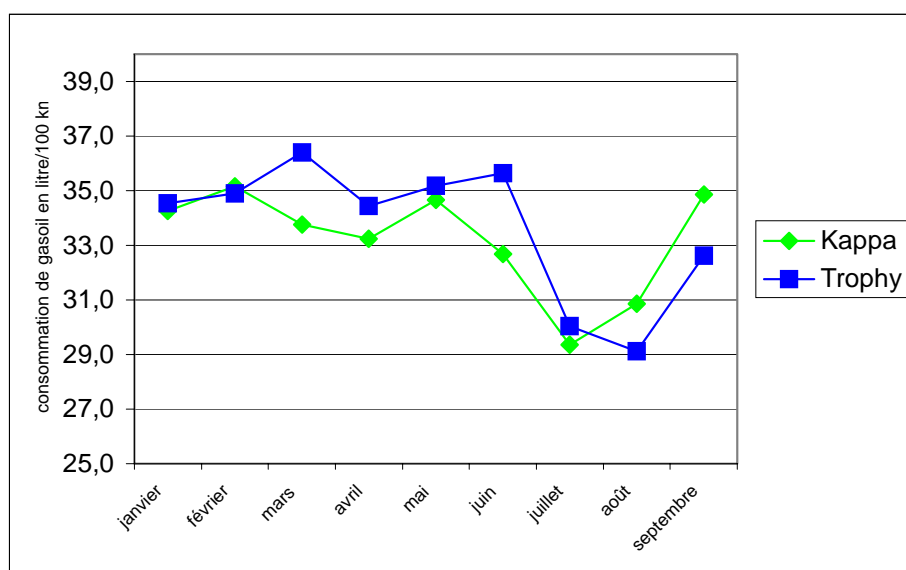


Figure 6: Évolution de la consommation en carburant (moyenne pour 4 bus).

Les mesures des métaux d'usure et de taux d'usure sont, comme déjà signalé plus haut, en défaveur de l'huile KAPPA. Par contre, la viscosité ne montre ni d'évolution au cours du temps, ni de différence entre les types d'huile.

Les appoints en huile ont également été similaires quelque soit le type d'huile. L'huile KAPPA, en théorie plus fluide, aurait dû être consommée en plus grande quantité mais sa stabilité plus élevée pourrait finalement avoir joué, de sorte qu'aucune différence ne se fasse sentir.

Hypothèse 3 : La diminution de l'intervalle de vidange engendre une diminution des coûts globaux permettant de compenser le prix d'achat plus élevé de l'huile KAPPA par rapport à l'huile TROPHY

Le **prix d'achat de l'huile**, basé sur les prix « tarifs bulk industrie » en 2003 est de 3.05 €/litre pour la TROPHY et de 6.75 €/litre pour la KAPPA.

L'**unité fonctionnelle** est définie comme la quantité d'huile à acheter, y compris les appoints, pour rouler 100.000 km. Elle est de 200 litres avec l'huile TROPHY vidangée à 20 000 km (40 litres tous les 20.000 km) et de 67 litres pour l'huile KAPPA lorsqu'elle est maintenue jusqu'à 60 000 km (mais dans ce cas le taux de suies est inacceptable). Avec de tels intervalles, l'huile TROPHY s'avère donc plus chère à l'usage que l'huile KAPPA.

La figure **Erreur ! Liaison incorrecte.** montre une extrapolation théorique du coût des deux huiles permettant de comparer les huiles selon la durée du bain d'huile et des contraintes techniques (harmoniser opérations de vidange et opérations de maintenance). Elle doit être utilisée avec précaution, car il est évident que les autres paramètres de suivi interviennent, et que les intervalles mentionnés ne le sont qu'à titre démonstratif.

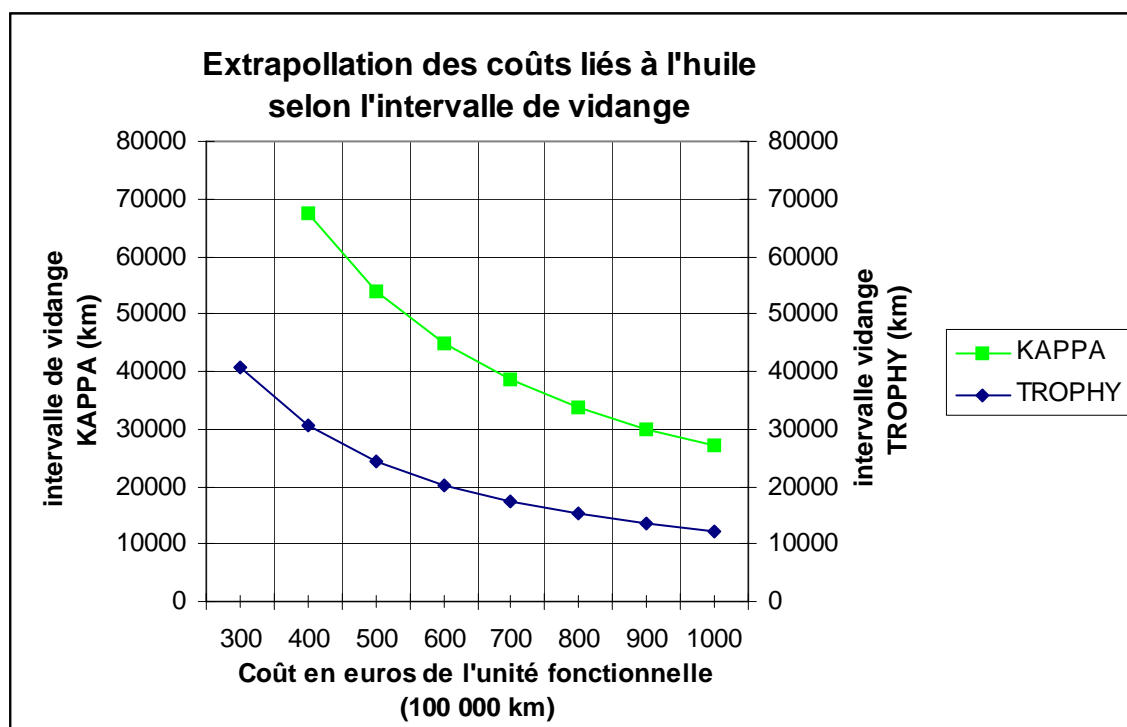


Figure 7 : Coût théorique de l'unité fonctionnelle, tenant compte du type d'huile, de l'intervalle de vidange, et du prix des huiles.

Le **temps d'immobilisation** du bus est estimé à 20 minutes par véhicule (comprenant la préparation du matériel nécessaire, la vidange proprement dite, le remplissage, la vidange du récolteur d'huile, etc.). Comme ce temps est similaire quelque soit le type d'huile, on peut noter que l'allongement de l'intervalle de vidange permet de réduire d'autant le temps d'immobilisation des bus, ainsi que la main d'œuvre consacrée à ce travail. Le temps à consacrer aux éventuelles opérations de prélèvement d'échantillons entre deux vidanges est négligeable.

Les **coûts de stockage et d'élimination des huiles** ne sont pas pris en compte par le TEC à l'heure actuelle.

Le coût d'analyses du lubrifiant n'a pas été comptabilisé dans la présente étude.

Comme mentionné plus haut, aucune incidence du type d'huile n'a pu être mise en évidence sur la **consommation de carburant**.

En conséquence, on peut conclure que la différence de prix entre l'huile TROPHY et KAPPA peut être compensée dans certains cas par la diminution des quantités à acheter, mais il faut également prendre en considération les contraintes techniques d'entretien du matériel roulant.

Opérationnellement, les autres postes de coûts ne semblent pas induire actuellement de conditions plus favorables à l'huile « *long drain* », du moins tant que le temps d'immobilisation du bus, le stockage de l'huile et l'élimination de l'huile usée ne sont pas des éléments perçus comme générateurs de coûts additionnels. Il reste à estimer quelles pourraient être les conséquences à long terme sur les moteurs de l'usure plus élevée avec l'huile KAPPA, même si elle reste dans les tolérances admises.

Conclusions

Dans cet essai, les paramètres de suivi de la KAPPA, bien qu'étant restés en général en dessous des cotes d'alerte, montrent de façon évidente une moins bonne performance de la KAPPA par rapport à la TROPHY, au point de vue de l'usure et de la teneur en suies.

L'allongement de l'intervalle de vidange (hypothèse 1) n'a été vérifié que dans deux bus sur quatre pour ce qui est de la teneur en suies. Le taux d'usure est toujours plus élevé avec l'huile KAPPA. La viscosité est restée stable et basse pour les deux huiles.

La consommation de carburant (hypothèse 2) est identique quelque soit le type d'huile.

Une diminution des coûts globaux (hypothèse 3) peut permettre de compenser le prix d'achat plus élevé de la KAPPA par rapport à la TROPHY mais cela dépend des intervalles de vidange considérés. Les conséquences éventuelles à long terme de l'usure accrue n'ont pas été évaluées.

Ces résultats reflètent sans doute le fait que la KAPPA répond à la norme ACEA 4, tandis que la TROPHY est une ACEA 3. L'ACEA 4 privilégie l'intervalle de vidange plus long et la propreté du moteur tandis que l'ACEA 3 a été formulée dans le sens d'une usure moindre pour un intervalle de vidange classique. Les moteurs des bus impliqués dans l'expérimentation correspondent à la norme Euro 2, moteurs pour lesquels une huile ACEA 4 convient moins *a priori*.

On a par ailleurs pu observer durant cet essai l'intérêt de suivre régulièrement le comportement du bain d'huile, quelque soit la durée de l'intervalle de vidange (*monitoring*).

Références

DAGNELIES P., 1975 Théorie et méthodes statistiques. Vol.2. Presses agronomiques de Gembloux.

Engalytcheff André, 2002 Suivi Analytique des Lubrifiants à base végétale en service. Présentation à la Journée de conférences et d'échanges du 30 mai 2002 « L'agriculture, productrice de matières premières renouvelables ». Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux.

ETIENNE, J.P., 2003 Communications orales.

FUSAGx, SRWT, TEC-Namur Luxembourg, TotalFina, juin 2000. Convention d'utilisation d'une huile végétale dans 5 bus du TEC.4 pages.

FUSAGx, 2003. Lubrifiants d'origine végétale. Rapport du Groupe de travail orchestré par ValBiom asbl dans le cadre du projet Filières Agriculture et Ressources Renouvelables en Wallonie. 40 pages.

<http://www.anac.be> (le 2.05.2003)

ENCADRE

Analyses des huiles (par le système ANAC de TOTAL)

Le service ANAC est un outil d'aide à la "gestion de parc" qui vise à réduire les coûts d'exploitation et optimiser la maintenance du parc de véhicules et de matériels. Il est basé sur le diagnostic de tous les organes mécaniques des véhicules et matériels (moteur, transmission, hydraulique).

A. Mesure de l'usure

Un moteur est constitué d'un ensemble de pièces de composition métalliques connue. L'origine et la concentration des éléments d'usure qui se retrouvent dans l'huile moteur sont propres à chaque type d'organe. Par exemple, quelques origines probables des métaux d'usures sont :

- Fer : chemises, segments, cames et poussoirs,....
- Plomb : première couche des coussinets, additifs ou couche de passivation de surface à base de plomb,...
- Cuivre : coussinets, bagues en bronze, paliers, refroidisseur d'huile,....
- Etain : coussinets, bagues en bronze,...
- Chrome : segments, tiges de soupape, poussoirs,...
- Aluminium : jupes de piston, coussinets (certains types de moteurs),...
- Nickel : axes de piston, vilebrequin, cames, poussoirs.

L'ANAC établit donc des relations entre les différents métaux d'usure et les compare à celles de la « famille de référence ». Comme les teneurs en métaux d'usure dépendent aussi de la consommation d'huile et de la longueur de l'intervalle de vidange (qui agissent sur la concentration en particules), il faut, pour rendre possible une comparaison entre les valeurs mesurées et les références d'usure, appliquer un modèle mathématique de correction, appelé la « compensation », exprimée en ppm.

La concentration en métaux de l'échantillon d'huile est déterminée par spectrométrie (Fe / Pb / Cu / Sn / Cr / Al / Ni). La précision est de 1/10.000 % (= ppm).

Le Taux d'usure est également un paramètre spécifique à l'ANAC. Il est le rapport de l'usure de l'organe rapporté à l'usure moyenne de tous les organes de mêmes marques et de mêmes types inscrits à l'ANAC. Une usure identique à la moyenne est égale à 1, une usure supérieure à 1 sera supérieure à la moyenne. Un taux d'usure de 1.14 correspond à 14 % d'usure en plus que celle observée sur un moteur fonctionnant de façon optimale.

B. Mesure de la contamination

Les mesures de Poussières (Silicium), Eau et Suies permettent d'évaluer la contamination de l'huile en éléments extérieurs et d'expliquer la présence d'usure abrasive ou corrosive.

Les origines probables d'une contamination en **Silicium** étranger peuvent être le manque d'étanchéité du circuit d'admission, une fuite dans le circuit de refroidissement, une utilisation (abus) de pâtes au silicone pour l'étanchéité de certaines pièces, etc. Le Silicium étranger est donc une mesure directe de l'usure abrasive.

La combustion provoque toujours une formation de **suie**. Une concentration élevée de suie peut être la conséquence d'un :

- mauvais fonctionnement du système d'injection (injecteurs, soupapes, pompe d'injection...);
- manque d'air (filtre à air colmaté);
- défaut de compression;
- gavage du moteur en carburant (surcharge);
- mauvais fonctionnement du turbo;
- mauvais entretien (vidange précédente faite à froid).

La mesure des suies s'effectue par la détermination colorimétrique du Carbone. Un facteur de corrélation est appliqué par l'ANAC qui exprime la valeur en AS (ANAC Standard)⁸.

La présence d'**eau** dans l'huile est déterminée avec une précision de 0.01 %. La contamination par l'eau peut provenir d'une fuite interne (joint de culasse, joint de chemise, refroidisseur d'huile, compresseur), de facteurs externes au moteur (lavage intempestif du moteur, eau de condensation en cas d'échantillon pris à froid, contamination lors de la prise d'échantillon).

C. Caractéristiques résiduelles

La Viscosité à 100°C (mm²/s) fait également partie du bilan classique des huiles moteurs. Une augmentation de celle-ci provoque l'augmentation de la consommation spécifique de carburant.

La Détérgence résiduelle peut s'affaiblir à la suite d'un intervalle de vidange trop long, d'une contamination par liquide de refroidissement ou d'une répétition de vidanges à froid. La mesure de détergence n'a engendré aucune remarque particulière dans la présente expérimentation, il n'en n'est plus fait mention dans l'analyse.

⁸ Suies (AS) = environ 60 * Suies (%)